

Rancang Bangun Demodulator FSK pada Frekuensi 145,9 MHz untuk Perangkat *Receiver* Satelit ITS-SAT

Respati Loy Amanda, Eko Setijadi, dan Suwadi

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

e-mail: ekoset@ee.its.ac.id

Abstrak— Setelah mengembangkan satelit nano IINUSAT-01 dan IINUSAT-02 bersama INSPIRE, ITS memulai kemandirian dalam membuat satelit yang dinamakan ITS-SAT. Salah satu fungsi satelit ini adalah melakukan pengiriman data teks pada lintasan *uplink* 145,9 MHz. Agar pengiriman data teks dapat berjalan dibutuhkan demodulator FSK pada frekuensi 145,9 MHz yang berfungsi untuk mendemodulasikan informasi awal. Demodulator FSK dirancang menggunakan IC Si4464 yang terintegrasi dengan *Low Noise Amplifier* serta *Down Converter* sehingga menjadi perangkat *receiver* terpadu. Rangkaian demodulator yang dirancang memiliki ukuran 3,9 x 2,1 cm. Hasil pengujian dan pengukuran perangkat menunjukkan bahwa demodulator FSK mampu bekerja dengan laju data 1200 baud. Frekuensi keluaran modulator FSK adalah 600 Hz dengan *power spectral* 24,87 dBm. Demodulator ini ditempatkan pada *payload* satelit ITS-SAT yang akan diintegrasikan dengan perangkat *transceiver* lainnya.

Kata Kunci—Demodulator FSK, ITS-SAT, Payload, Receiver

I. PENDAHULUAN

Setelah berhasil mengembangkan satelit nano *Indonesia Inter University Satellite* (IINUSAT) bersama *Indonesian Nano-Satellite Platform Initiative for Research & Education* (INSPIRE), ITS memulai kemandirian dalam mengembangkan teknologi satelit berdimensi nano dan piko. Rencana kedepannya satelit milik ITS tersebut akan diberi nama ITS-SAT, bersamaan dengan perkembangan satelit berukuran mini di universitas lainnya di Indonesia, seperti UI-SAT, UGM-SAT, dan ITB-SAT.

Dalam sistem komunikasi radio pada *payload* satelit terdapat perangkat pemancar-penerima (*transceiver*) yang terdiri dari stasiun pemancar (*transmitter*), stasiun penerima (*receiver*), antena pemancar dan penerima, mikrokontroler, serta protokol komunikasi. Stasiun pemancar dan penerima pada satelit maupun stasiun pemancar terdiri dari *amplifier* yang berfungsi menguatkan sinyal, *converter* untuk mengonversikan sinyal *baseband* ke *intermediate frequency* dan sebaliknya, serta modem yang berfungsi sebagai pemodulasi sinyal informasi^[1]. Modem yang merupakan singkatan dari modulator-demodulator, adalah perangkat transmisi data digital yang berfungsi mengubah sinyal digital menjadi sinyal analog (pada sisi modulator) dan mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital kembali (pada sisi demodulator) sesuai dengan karakteristik media transmisi

yang digunakan. Agar satelit dengan stasiun bumi dapat berkomunikasi dengan baik maka diperlukan Demodulator *Frequency Shift Keying* (FSK) sebagai pengiriman data teks pada *receiver* satelit dengan baud *rate* 1200 baud pada frekuensi 145,9 MHz di penerima satelit sesuai dengan stasiun bumi satelit IINUSAT-01.

Modulasi yang digunakan pada sistem komunikasi radio ITS SAT ini adalah modulasi FSK atau jenis modulasi digital dengan pengiriman sinyal melalui pergeseran frekuensi. Umumnya modulasi FSK digunakan untuk komunikasi data dengan baud *rate* rendah.

Modulasi FSK terdiri dari dua kondisi yaitu “1” (frekuensi *mark*) sebagai suatu nilai tegangan pada frekuensi tertentu dan “0” (frekuensi *space*) dengan nilai tegangan pada frekuensi yang berbeda. Dalam pengiriman data teks modulasi FSK lebih banyak digunakan dibandingkan modulasi digital lainnya, karena modulasi FSK rentan terhadap *noise* serta memiliki rangkaian yang sederhana.

Pada tugas akhir ini akan dibahas mengenai rancang bangun demodulator FSK untuk perangkat *receiver* pada *payload* ITS-SAT.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Komunikasi Radio Pada Satelit

Sistem komunikasi pada satelit termasuk dalam jenis sistem komunikasi *Radio Frequency* (RF), yang memiliki 2 bagian utama yaitu perangkat yang berada di angkasa (*space segment*) dan perangkat yang berada di stasiun bumi (*ground segment*). Segmen angkasa berfungsi sebagai penerima informasi yang dikirim dari segmen stasiun bumi, dan memberikan informasi keadaan yang dipantau kembali ke segmen stasiun bumi.

Satelit memiliki konfigurasi *point-to-point* (satu ke satu), *point-to-multipoint* (satu ke banyak), serta *multipoint-to-point* (banyak ke banyak) dengan dua lintasan utama, yaitu *uplink* dan *downlink*. *Uplink* merupakan jenis lintasan komunikasi yang dilakukan dari stasiun bumi ke satelit, sedangkan *downlink* merupakan jenis lintasan komunikasi yang dilakukan dari satelit ke stasiun bumi. Umumnya, sistem komunikasi radio pada satelit dengan jenis lintasan *uplink* menggunakan konfigurasi *multipoint-to-point*, sedangkan

pada jenis lintasan *downlink* menggunakan konfigurasi *point-to-multipoint*

B. Modulasi Frequency Shift Keying (FSK)

Modulasi FSK merupakan bentuk modulasi digital dari modulasi FM, dimana sinyal pemodulasinya merupakan deretan pulsa biner diantara tegangan diskrit^[2]. Berbeda dengan modulasi FM yang bersifat kontinu pada gelombang analog, modulasi ini menggeser frekuensi *carrier* menjadi beberapa frekuensi yang berbeda sesuai dengan keadaan digit biner yang sedang dilewatkan ("0" atau "1"). Kondisi "0" tersebut adalah kondisi *space* atau kondisi bawah, dan kondisi "1" disebut kondisi *mark* atau kondisi atas.

Pada modulasi FSK dua sinyal sinusoidal memiliki amplitudo yang sama namun frekuensinya berbeda. Amplitudo direpresentasikan dengan simbol A_c sedangkan frekuensi dengan f_1 dan f_2 . Secara matematis dapat dituliskan pada persamaan:

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_1 t) \text{ untuk logika "1"} \quad (1)$$

$$s(t) = A_c \cos(2\pi f_2 t) \text{ untuk logika "0"} \quad (2)$$

Dalam modulasi FSK dikenal istilah frekuensi deviasi, atau setengah selisih antara frekuensi *mark* dan frekuensi *space*. Frekuensi deviasi tergantung pada amplitudo dari sinyal modulasinya. Pada hubungan antara frekuensi deviasi dengan frekuensi *mark* dan *space*, untuk frekuensi deviasi dinyatakan sebagai Δf dan frekuensi *carrier* dinyatakan sebagai f_c . Sedangkan frekuensi *mark* dinyatakan sebagai f_m dan frekuensi *space* dinyatakan sebagai f_s . Hubungan antara frekuensi deviasi dengan frekuensi *mark* dan *space* dapat dilihat pada persamaan dibawah ini:

$$\Delta f = \frac{|f_m - f_s|}{2} \text{ (Hz)} \quad (3)$$

$$f_m = f_c + \Delta f \text{ (Hz)} \quad (4)$$

$$f_s = f_c - \Delta f \text{ (Hz)} \quad (5)$$

Selain frekuensi deviasi, parameter yang dapat mempengaruhi sinyal FSK adalah indeks *bandwidth* (BW). Besarnya *bandwidth* dipengaruhi oleh frekuensi *mark* (f_m), frekuensi *space* (f_s), serta *time bit* (t_b):

$$t_b = \frac{1}{\text{laju data dalam baud}} \text{ (s)} \quad (6)$$

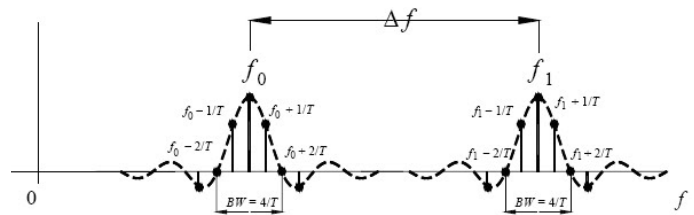
$$BW = f_m + \frac{2\pi}{t_b} - (f_s - \frac{2\pi}{t_b}) \text{ (s)}$$

$$BW = f_m - f_s + \frac{2\pi}{t_b} \text{ (s)}$$

$$BW = 2 \times \left(\Delta f + \frac{1}{t_b} \right) \text{ (s)}$$

(7)

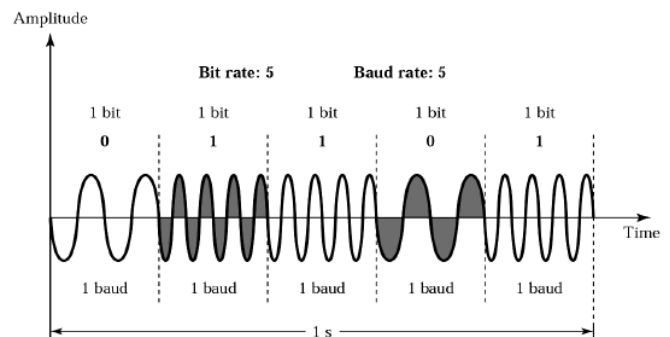
Sedangkan spektrum yang dihasilkan pada modulasi FSK memiliki karakteristik pada gambar 1 berikut:



Gambar. 1. *Bandwidth* pada Spektrum Modulasi FSK^[3]

C. Komunikasi Data Digital

Dalam komunikasi digital dikenal istilah *bit rate* dan *baud rate*. *Bit rate* atau laju bit merupakan jumlah bit per satuan detik, dinyatakan dalam satuan *bit per second* (bps). Sedangkan *baud rate* adalah jumlah simbol per satuan detik. Nilai *bit rate* dan *baud rate* pada suatu sistem komunikasi digital akan bernilai sama jika sistem tersebut menggunakan satu bit untuk setiap kode sinyal pulsa. Jika sistem tersebut menggunakan beberapa bit untuk setiap kode sinyal pulsa maka nilai *bit rate* akan lebih besar dari *baud rate*.

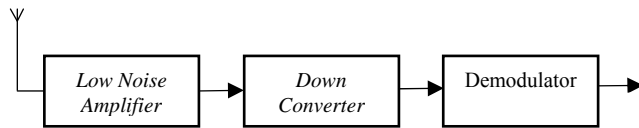


Gambar. 2. *Bit Rate* dan *Baud Rate* pada Modulasi FSK

III. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI

A. Pendahuluan

Sistem komunikasi radio pada satelit ITS-SAT memiliki dua komponen utama, yaitu *payload* satelit dan stasiun bumi. Pada *payload* satelit terdapat pemancar dan penerima (*transceiver*) untuk komunikasi data teks, pemancar dan penerima (*transceiver*) untuk komunikasi citra, mikrokontroler, paket assembler diassembler (PAD), serta kamera. Di dalam perangkat receiver *payload* satelit ITS-SAT terdapat dua tolak ukur utama dalam menentukan apakah sinyal informasi yang diterima efisien atau tidak, yaitu Demodulator FSK dan *Low Noise Amplifier* (LNA). Diagram blok sistem komunikasi pada *receiver payload* satelit ITS-SAT ditunjukkan pada gambar 3 berikut:



Gambar. 3. Diagram Blok Receiver pada Payload ITS-SAT

B. Penentuan Kriteria Demodulator FSK

Perancangan Demodulator FSK diawali dengan penentuan kriteria yang diinginkan, yaitu meliputi kecepatan transmisi data, frekuensi *mark*, frekuensi *space*, frekuensi deviasi, *bandwidth*, serta indeks modulasi. Kriteria tersebut akan berpengaruh terhadap keluaran sinyal pada demodulator FSK yang dirancang.

Hasil perhitungan kriteria perancangan dapat diperoleh berdasarkan persamaan pada bab II. Berikut hasil penentuan kriteria Demodulator FSK:

1. Jenis modulasi yang digunakan adalah modulasi *Frequency Shift Keying* (FSK).
2. Frekuensi *center* (f_c) yang digunakan adalah 145,9 MHz, disesuaikan dengan frekuensi *uplink transmitter* pada *ground station* satelit IINUSAT-01.
3. Baud rate yang digunakan sebesar 1200 baud dengan informasi masukan sebesar 600 Hz ($\frac{\text{baud rate}}{2}$).
4. Frekuensi deviasi (Δf) demodulator FSK sebesar 1,2 kHz, diperoleh dari *datasheet* IC yang digunakan.
5. Perhitungan frekuensi *mark* (f_m) dan *space* (f_s) pada demodulator FSK dapat diperoleh dari perhitungan dibawah ini:

$$f_c = 145,9 \text{ MHz}$$

$$\Delta f = 1,2 \text{ kHz}$$

$$\begin{aligned} f_m &= f_c + \Delta f \\ &= 145900000 + 1200 \\ &= 145901200 \text{ Hz} \\ &= 145,901200 \text{ MHz} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_s &= f_c - \Delta f \\ &= 145900000 - 1200 \\ &= 145898800 \text{ Hz} \\ &= 145,898800 \text{ MHz} \end{aligned}$$

6. *Bandwidth* (BW) dan *time bit* (tb) demodulator dapat diperoleh dari perhitungan dibawah ini:

$$t_b = \frac{1}{\text{biting speed in baud}}$$

$$t_b = \frac{1}{1200}$$

$$t_b = 3,33 \times 10^{-4} \text{ s}$$

$$\begin{aligned} BW &= f_m - f_s + \frac{1}{t_b} \\ &= 2 \times (\Delta f + \frac{1}{t_b}) \\ &= 2 \times [(1200) + \frac{1}{3,33 \times 10^{-4}}] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 4800,960 \text{ Hz} \\ &= 4,8 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Hasil kriteria perancangan tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 1 berikut:

Tabel 1.

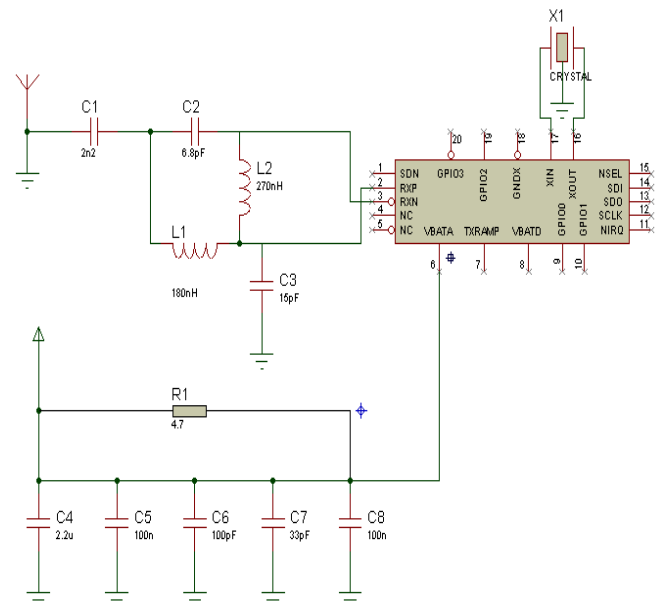
Kriteria Perancangan Demodulator FSK

No	Parameter	Nilai
1	Baud rate	1200 baud
2	Frekuensi center (f_c)	145,9 MHz
3	Frekuensi deviasi (Δf)	1,2 kHz
4	Frekuensi mark (f_m)	145,901 MHz
5	Frekuensi space (f_s)	145,898 MHz
6	Bandwidth (BW)	4,8 kHz

C. Perancangan Rangkaian Demodulator FSK

Dalam perancangan Demodulator FSK pada frekuensi 145,9 MHz ini digunakan *Integrated Circuit* (IC) Si4464 sebagai komponen yang mengintegrasikan ketiga bagian blok diagram *receiver payload* ITS-SAT pada gambar 3. Pemilihan IC ini berdasarkan kriteria yang telah dirancang pada tabel 1, yaitu IC yang dapat bekerja dengan modulasi FSK, baud rate 1200, frekuensi kerja 145,9 MHz, serta memiliki ukuran relatif kecil yaitu $0,4 \times 0,4 \text{ mm}^2$. Selain itu IC Si4464 memiliki performansi tinggi dengan masukan tegangan yang relatif kecil yaitu +3.3 V.

Agar dapat bekerja pada frekuensi 145,9 MHz diperlukan komponen pasif pendukung pada rangkaian *receiver*. Skematik rangkaian *receiver* dengan IC Si4464 yang dibuat melalui *software* ISIS 7 Professional ditunjukkan pada gambar 4 berikut:



Gambar. 4. Skema Rangkaian Receiver dengan IC Si4464

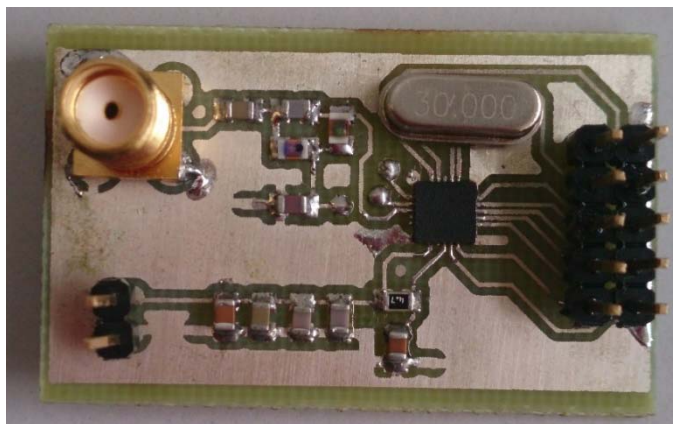
Agar perangkat yang dihasilkan memiliki dimensi yang lebih kecil maka digunakan jenis komponen SMD dengan *crystal oscillator* sebesar 30 MHz dan untuk antena menggunakan SMA *connector female*.

D. Implementasi Demodulator FSK

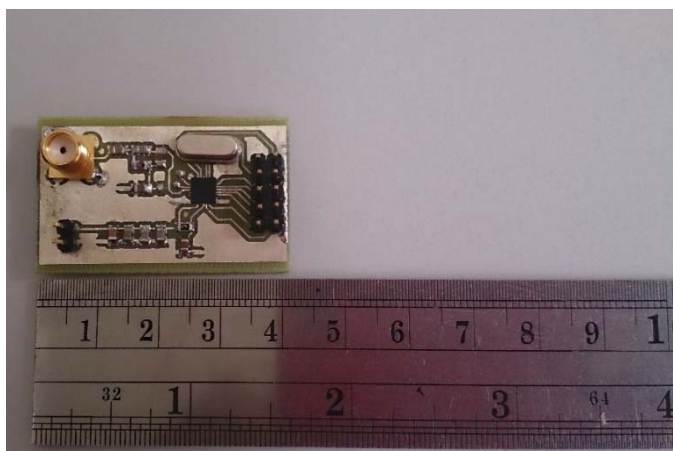
Untuk merealisasikan perangkat yang telah dirancang melalui skematik rangkaian, dibutuhkan desain PCB yang sesuai dengan kriteria yang diinginkan menggunakan *software* Eagle 7.0. Hasil desain PCB yang direalisasikan berjenis *double layer*, yaitu memiliki jalur atas (*top*) dan bawah (*bottom*). Pembuatan PCB berjenis *double layer* ini dikarenakan jalur *pin* IC yang sangat tipis. Hasil realisasi PCB memiliki dimensi 3,1 cm x 2,9 cm.

Untuk merealisasikan komponen diatas PCB dibutuhkan ketelitian yang tinggi karena IC yang digunakan merupakan jenis IC yang sensitif serta komponen yang digunakan merupakan komponen *ceramic chip* SMD jenis 0805. Tingkat ketelitian yang tinggi juga dibutuhkan pada saat penyolderan IC karena temperatur kerja maksimal IC sebesar $+85^{\circ}\text{C}$ dan IC yang digunakan merupakan jenis IC SMD dengan *pin* yang terletak disisi bawah IC.

Realisasi demodulator FSK yang terintegrasi dengan perangkat *receiver* dengan dimensi 3,9 cm x 2,1 cm x 1,4 cm ditunjukkan pada gambar 5 berikut:



Gambar. 5. Realisasi Receiver Payload ITS-SAT pada Frekuensi 145,9 MHz

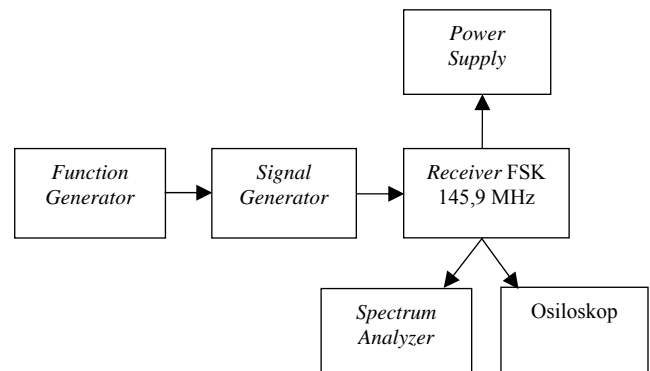


Gambar. 6. Ukuran Receiver Payload ITS-SAT pada Frekuensi 145,9 MHz

IV. PENGUJIAN DAN ANALISA

Untuk menguji kinerja demodulator FSK pada perangkat *receiver* terpadu yang telah direalisasikan dapat menggunakan

function generator dan *signal generator* sebagai penghasil sinyal FSK termodulasi (modulator FSK). Langkah pengujian demodulator dapat dijelaskan pada gambar 7 berikut:



Gambar. 7. Diagram Blok Pengujian Demodulator dengan *Function Generator* dan *Signal Generator*

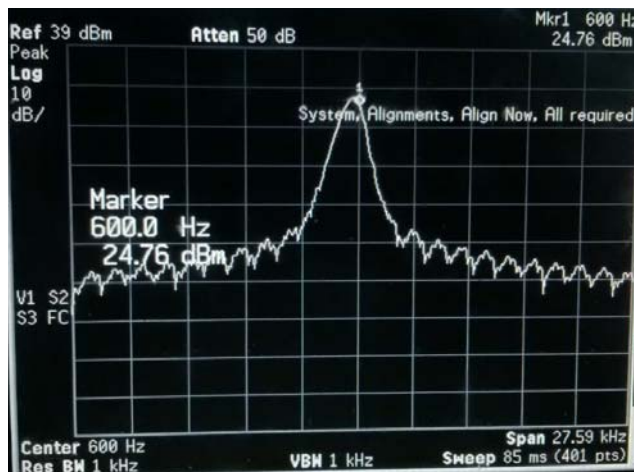
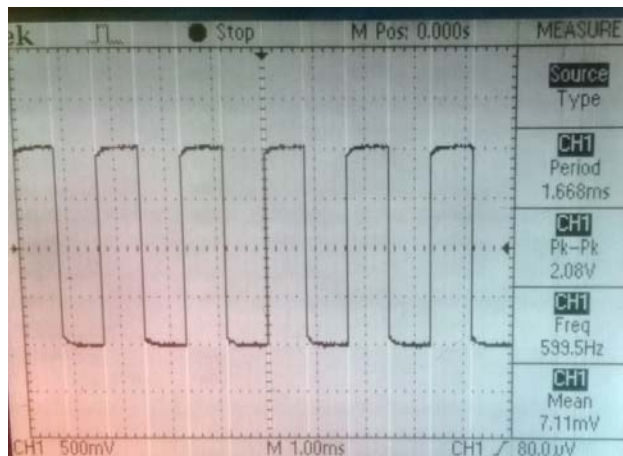
Function generator berfungsi sebagai pemberi sinyal informasi masukan sebesar 600 Hz ($\frac{\text{band rate}}{2}$) dengan jenis sinyal digital. Sedangkan *signal generator* berfungsi sebagai masukan frekuensi *center* yang bernilai 145,9 MHz dengan frekuensi deviasi 1,2 kHz serta modulasi FM. Sebelum memulai pengujian perangkat *receiver*, sinyal keluaran *function generator* dan *signal generator* masing-masing harus diuji terlebih dahulu. Jika masing-masing sinyal keluaran telah sesuai yang diinginkan maka perangkat telah siap diuji.

Hasil keluaran pada *signal generator* yang diberi masukan *function generator* adalah sinyal RF termodulasi FSK. Hasil tersebut hanya dapat dilihat pada *spectrum analyzer* yang berfungsi untuk menampilkan spektrum dan daya dari perangkat yang diukur dalam *range* frekuensi RF. Sedangkan osiloskop berfungsi untuk menampilkan bentuk sinyal perangkat dan level *peak-to-peak* dengan batas frekuensi hingga 60 MHz.

Spektrum sinyal informasi awal sebelum dimodulasi (ditunjukkan pada gambar 8 dan 9) merupakan tolak ukur yang dapat dibandingkan dengan hasil keluaran sinyal informasi setelah didemodulasi oleh demodulator FSK pada *receiver*. Pengujian perangkat *receiver* diberi tegangan masukan sebesar 3.3 V yang dapat diatur pada *power supply*.

Jika hasil keluaran *receiver* tidak jauh berbeda dengan sinyal informasi awal yang berupa sinyal digital dengan frekuensi 600 Hz, maka demodulator FSK dapat bekerja dengan baik.

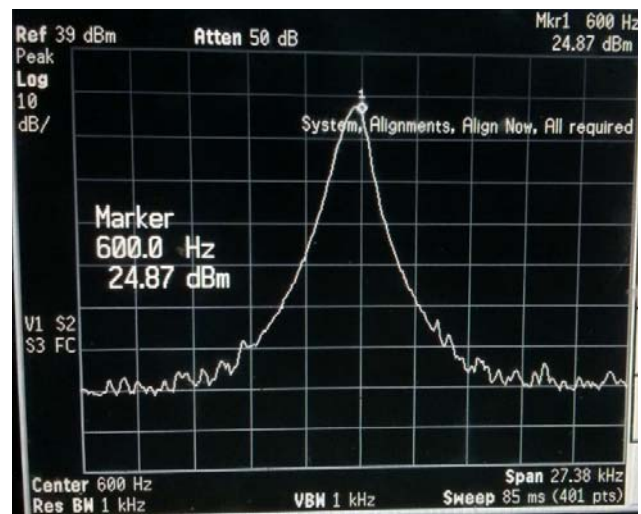
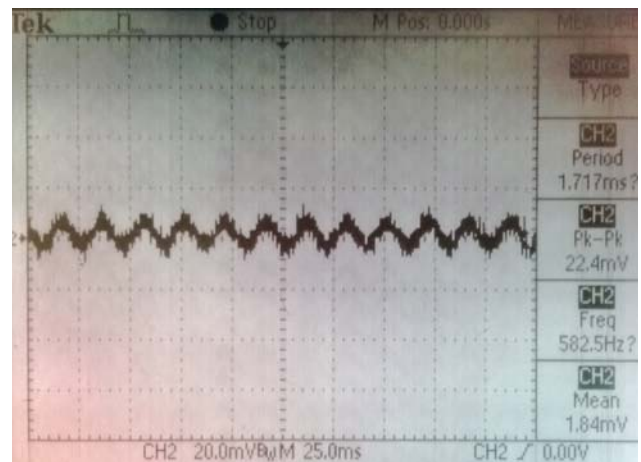
Berikut hasil sinyal keluaran dari alat ukur *function generator* dan *signal generator* sebagai penghasil sinyal termodulasi:

Gambar. 8. Sinyal Informasi Sebelum Dimodulasi di *Spectrum Analyzer*Gambar. 9. Sinyal Informasi Sebelum Dimodulasi di *Oscilloscope*Gambar. 10. Sinyal Informasi Setelah Dimodulasi oleh *Signal Generator*

Pada gambar 10 terlihat bahwa keluaran dari *signal generator* merupakan sinyal FSK termodulasi dengan frekuensi *center* (fc) sebesar 145,9 MHz, frekuensi *mark* (fm) sebesar 145,901 MHz, dan frekuensi *space* (fs) sebesar 145,898 MHz. *Bandwidth* pada spektrum dapat diperoleh dari *span* dikali jarak *main lobe* 1 ke *main lobe* 2. Pada gambar 10 *bandwidth* yang diperoleh adalah sebesar 4,708 kHz.

Keluaran pada *Signal Generator* kemudian dihubungkan kepada SMA connector receiver FSK 145,9 MHz. Untuk mengetahui hasil sinyal terdemodulasi, pin SDO pada receiver dapat dihubungkan dengan *spectrum analyzer* dan

oscilloscope. Berikut hasil keluaran sinyal yang terdemodulasi oleh receiver:

Gambar. 11. Sinyal Informasi yang Telah Didemodulasi (Sinyal Informasi Akhir) di *Spectrum Analyzer*Gambar. 12. Sinyal Informasi yang Telah Didemodulasi (Sinyal Informasi Akhir) di *Oscilloscope*

Dari gambar 11 terlihat bahwa hasil keluaran receiver merupakan spektrum sinyal *baseband* dengan frekuensi tengah 600 Hz dan daya sebesar -14,13 dBm (24,87 dBm – 39 dBm).

Sedangkan pada gambar 12 terlihat bahwa keluaran receiver tidak berbentuk *digital* pada *oscilloscope*. Frekuensi yang terbaca oleh *oscilloscope* juga tidak stabil meskipun *oscilloscope* dapat membaca hasil keluaran pada frekuensi yang mendekati frekuensi sinyal informasi awal yaitu sebesar 582,5 Hz. Level *peak to peak* pada *oscilloscope* sebesar 22,4 mV, berkurang 2,078 V dari level *peak to peak* sinyal informasi awal (2,08 V). Tidak stabilnya frekuensi yang terdeteksi dan berkurangnya level *peak to peak* pada *oscilloscope* dapat diperkirakan karena tingkat sensitivitas IC yang tinggi. IC diperkirakan tidak dapat bekerja secara maksimal karena temperatur kerja yang dipakai saat penyolderan IC sebesar +300° hingga +400° C sedangkan temperatur maksimal IC sebesar +85° C.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perangkat yang telah diimplementasikan dan dianalisa pada pengujian kerja perangkat yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang dapat disimpulkan, yaitu demodulator dapat bekerja pada frekuensi 145,9 MHz dengan baud rate 1200. Hal ini dapat dilihat dari frekuensi sinyal informasi akhir dari demodulator yang sama dengan frekuensi sinyal informasi awal pada *spectrum analyzer*. Namun demodulator tidak dapat bekerja secara maksimal karena temperatur kerja saat penyolderan melebihi temperatur kerja IC. Demodulator yang terintegrasi dengan perangkat *receiver* lainnya memiliki dimensi 3,9 cm x 2,1 cm x 1,4 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan 2012/2013 atas dukungan finansialnya terhadap riset mahasiswa di bidang satelit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Maini A. K. & Agrawal V, 2007, *Satellite Technology Principles and Applications*, John Wiley & Sons Ltd, England.
- [2] Roddy, Dennis., 2001, "Satellite Communication 3rd Edition", McGraw- Hill, USA.
- [3] Sklar Bernard, 2001, *Digital Communication Fundamental and Application*, 2nd ed., California, USA.
- [4] Silicon Laboratories, 2013, *HIGH-PERFORMANCE, LOW-CURRENT TRANSCEIVER*, <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/Si4464-63-61-60.pdf>, USA.